

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2023年8月10日(10.08.2023)



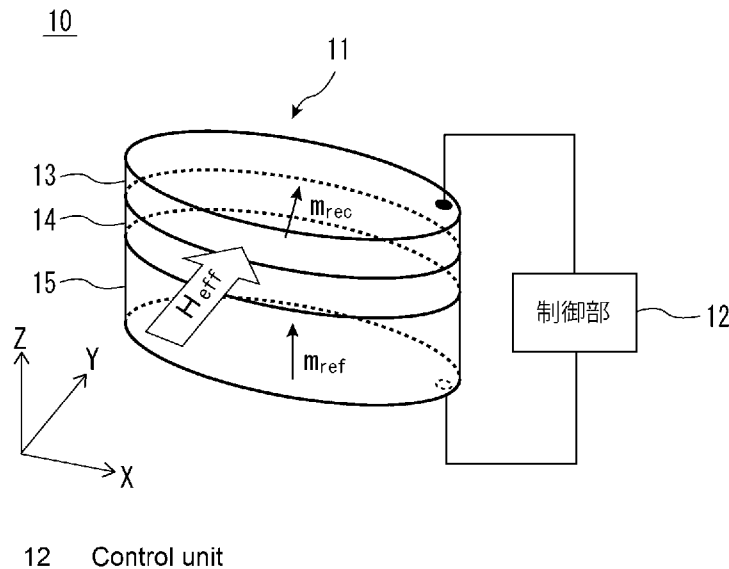
(10) 国際公開番号

WO 2023/149019 A1

- (51) 国際特許分類:
H10B 61/00 (2023.01) *H10N 50/10* (2023.01)
GIIC 11/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/037771
- (22) 国際出願日: 2022年10月11日(11.10.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2022-016669 2022年2月4日(04.02.2022) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人産業技術総合研究所(NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1008921 東京都千代田区霞が関 1丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 松本 利映 (MATSUMOTO Rie); 〒3058560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 湯浅 新治(YUASA Shinji); 〒3058560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP). 今村 裕志(IMAMURA Hiroshi); 〒3058560 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第1 国立研究開発法人産業技術総合研究所内 Ibaraki (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

(54) Title: MAGNETIC STORAGE DEVICE PROVIDED WITH MAGNETORESISTIVE ELEMENT

(54) 発明の名称: 磁気抵抗素子を備える磁気記憶装置



(57) Abstract: Provided is a magnetic storage device 10 comprising: a magnetoresistive element 11 having a structure in which a recording layer 13 that includes a first magnetic layer, a tunnel barrier layer 14, and a reference layer 15 that includes a second magnetic layer are laminated; and a control unit 12, wherein the in-plane shape of the recording layer 13 is such that a rectangle circumscribing the in-plane shape and having the smallest area has a short side and a long side which have mutually different lengths, and at the time of writing to the recording layer 13, the control unit 12 applies a voltage pulse to the magnetoresistive element 11 while applying an effective magnetic field in the direction of the short side in the plane of the recording layer 13.



MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 第1の磁性層を含む記録層13と、トンネル障壁層14と、第2の磁性層を含む参照層15との積層構造を有する磁気抵抗素子11と、制御部12と、を備え、上記記録層13の面内形状は、該面内形状に外接し面積が最小となる長方形が互いに異なる長さの短辺および長辺を有する形状であり、上記記録層13に書込み時に、有効磁界を上記記録層13の面内の上記短辺方向に印加しながら、上記制御部12が上記磁気抵抗素子11に電圧パルスを印加する、磁気記憶装置10が提供される。

明 細 書

発明の名称：磁気抵抗素子を備える磁気記憶装置

技術分野

[0001] 本発明は、磁性薄膜を含む薄膜積層体の磁気抵抗素子を備えた磁気記憶装置に関する。

背景技術

[0002] 磁気抵抗素子は、磁化固定層、中間層および磁化自由層の積層体からなる素子である。磁気抵抗素子は、磁化固定層と磁化自由層の磁化の相対的な角度で抵抗値が変化するという特徴を持つ。磁化の異方性をもたせることにより、磁気抵抗素子は、磁化自由層において、磁化の角度に対してエネルギーの極大・極小値をもたせることができる。例えば磁化固定層と磁化自由層の磁化が1軸で正の異方性を有する場合、磁化の相対的な角度が平行または反平行のときに磁化のエネルギーが極小になり、二つの安定状態を取ることができる。磁気抵抗素子の抵抗値は磁化の向きが平行のときに最も低くなり、反平行のとき最も高くなる。磁気抵抗素子をメモリとして応用する場合、磁化自由層を記録層に用いる。

[0003] 電圧書込み方式では、磁気抵抗素子に電圧パルスを印加することによって、記録層内の磁化自由層の磁化の向きを反転させることができる。これが電圧磁化反転と呼ばれる現象である。この反転をデータの書込み法として用いた不揮発メモリが電圧制御型・磁気抵抗メモリー（VC-MRAM）である。電圧磁化反転は、数十 $k_B T$ のエネルギー障壁で隔てられた2つの磁化状態間を、サブナノ秒～数ナノ秒の時間幅の電圧パルスの印加によってエネルギー障壁を低くすることで移動し易くし、高速で消費電力の極めて低いスイッチングである。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第2018／0158525号明細書

非特許文献

[0005] 非特許文献1: Y. Shiota, et al., Appl. Phys. Lett. 111, 022408 (2017)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 電圧書込み方式では、書込みエラーを引き起こす原因の一つとして、書込み前の始状態と書込み後の終状態とにおいて記録層の磁化が受ける熱揺らぎがあり、磁化が絶対零度での平衡状態での方向からずれてその向きがばらつく。磁化の向きのばらつきを抑制するためには記録層の垂直磁気異方性を大きくすることが考えられ、リバーズバイアス法が提案されている（例えば、特許文献1参照）。リバーズバイアス法は、記録層の磁化の反転のための書込み電圧を印加する前および後に、書込み電圧と逆の極性のバイアス電圧を磁気抵抗素子に印加する。バイアス電圧を印加すると垂直磁気異方性エネルギーが増加して膜面に対して垂直方向に作用して、熱エネルギーが相対的に小さくなり、磁化の向きのばらつきが抑制される。しかしながら、リバーズバイアス法では、書込み前から書込み後まで磁気抵抗素子に電圧を印加するので、消費電力が増加するという好ましくない現象が発生する。

[0007] 書込みエラーを引き起こす他の原因として、書込み中に歳差反転する記録層の磁化が受ける熱擾乱があり、磁化の向きが反転しない終状態となる場合がある。熱擾乱の影響を抑制するために、記録層の膜面に対して平行方向に印加する外部磁場を大きくすることで、書込みエラー率が低減できることが報告されている（例えば、非特許文献1参照）。しかしながら、この手法では、外部磁場が大きいほど電圧パルス幅が短くて済む分高速かつ低消費電力の書込みが行えるが、垂直磁気異方性エネルギーに比して過度に外部磁界が大きい場合書込みエラー率が十分低減できないという好ましくない現象が発生する。

[0008] 本発明の目的は、高速で低消費電力の書込みが可能で、かつ書込みエラー率の低減が可能な磁気記憶装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様によれば、第1の磁性層を含む記録層と、トンネル障壁層と、第2の磁性層を含む参照層との積層構造を有する磁気抵抗素子と、制御部と、を備え、上記記録層の面内形状は、該面内形状に外接し面積が最小となる長方形が互いに異なる長さの短辺および長辺を有する形状であり、上記記録層に書込み時に、有効磁界を上記記録層の面内の上記短辺方向に印加しながら、上記制御部が上記磁気抵抗素子に電圧パルスを印加する、磁気記憶装置が提供される。

[0010] 上記態様によれば、磁気抵抗素子の記録層は、その面内形状に外接し面積が最小となる長方形が互いに異なる長さの短辺および長辺を有する形状とし、有効磁界を上記記録層の面内の上記短辺方向に印加しながら、制御部が磁気抵抗素子に電圧パルスを印加することで、高速で低消費電力の書込みが可能で、かつ、記録層の形状磁気異方性により、書込み前および後で記録層の磁化の熱揺らぎを抑制するとともに、書込み中の熱擾乱の影響を抑制することで、書込みエラー率の低減が可能になる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]第1の実施形態に係る磁気記憶装置の要部の概略構成図である。

[図2]磁気抵抗素子の記録層の平面図であり、面内形状を説明するための図である。

[図3]磁気抵抗素子の記録層の磁化の挙動の説明図である。

[図4]電圧パルス印加の書込みモデルのシーケンスの説明図である。

[図5]磁気抵抗素子の記録層の磁化の始状態の分布の計算例を示す図である。

[図6]磁気抵抗素子の記録層の磁化の始状態のエネルギー密度を示す図である。

[図7]第1の実施形態に係る磁気記憶装置の書込みエラー率の計算例を示す図（その1）である。

[図8]第1の実施形態の書込み電圧パルスの時間幅と書込みエラー率との関係を示す図である。

[図9]第1の実施形態に係る磁気記憶装置の書込みエラー率の計算例を示す図（その2）である。

[図10]第2の実施形態の書込み電圧パルスの時間幅と書込みエラー率との関係を示す図である。

[図11]本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の概略構成図である。

[図12]本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の動作例の説明図（その1）である。

[図13]本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の動作例の説明図（その2）である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面に基づいて本発明の実施形態を説明する。なお、複数の図面間において共通する要素については同じ符号を付し、その要素の詳細な説明の繰り返しを省略する。

[0013] [第1の実施形態]

図1は、第1の実施形態に係る磁気記憶装置の要部の概略構成図である。図2は、磁気抵抗素子の記録層の平面図であり、面内形状を説明するための図である。図1および図2のXY平面は、記録層の面内と平行な面である。X軸は記録層の楕円形の面内形状の長軸方向であり、Y軸は記録層の楕円形の面内形状の短軸方向であり、Z軸は記録層に対する垂直方向である。

[0014] 図1および図2を参照するに、磁気記憶装置10は、2つの安定な磁化状態を利用して情報を記憶する磁気抵抗素子11と、磁気抵抗素子11に電圧パルスを印加して情報の書込みを行うとともに読出しを制御する制御部12とを有する。磁気抵抗素子11は、記録層13と、参照層15と、記録層13と参照層15とに挟まれるトンネル障壁層14とを有する。

[0015] 本実施形態の磁気記憶装置10は、従来の、磁界による書込方式いわゆるトグル磁気抵抗メモリ（トグルMRAM）および電流による書込み方式いわゆるスピントルク書込型磁気メモリ（STT-RAM）とは異なり、電圧パルスを磁気抵抗素子11に印加して記録層13の磁化の方向を反転させる電

圧制御型磁気メモリ（V C-M R A M）である。磁気記憶装置 1 0 は、サブナノ秒～ナノ秒のオーダの短い電圧パルスによって記録層 1 3 の 2 つの安定な磁化状態間に存在するエネルギー障壁の高さを制御してジュール損失が少ない磁化反転を行うので、高速で低消費電力の書込みが可能になる。

[0016] 磁気記憶装置 1 0 は、電圧磁化反転のため、例えば書込み時に記録層 1 3 の面内の所定の方向に有効磁界を印加する。なお、書込み時だけでなく書込み時以外にも有効磁界を印加したままでもよい。有効磁界の所定の方向は、面内形状の短辺方向（Y 軸方向）である。短辺方向について以下説明する。図 2 に示す記録層 1 3 の面内形状は、その面内形状（輪郭）に外接する長方形で面積が最小となる長方形 R T G が一意的に決まる。記録層 1 3 の面内形状は、長方形 R T G の互いに異なる長さの短辺 S S および長辺 L S を有する形状であり、短辺 S S と長辺 L S とが同じ長さになる場合、すなわち、長方形 R T G が正方形の場合を含まない。このように、有効磁界は、記録層 1 3 の面内形状について上記のようにして特定した長方形 R T G の短辺方向（S S 方向）に印加する。

[0017] 図 1 に示す磁気抵抗素子 1 1 の一例として楕円柱の立体形状とすると、図 2 に示すように、記録層 1 3 の面内形状は楕円形となり、楕円形の短軸が長方形 R T G の短辺 S S に対応し、楕円形の長軸が長辺 L S に対応する。記録層 1 3 が製造工程中の影響等を受けて面内形状が変形している場合も、有効磁界は上記の通りに特定された長方形の短辺方向に印加される。

[0018] 短辺 S S の長さは、長いほど、記録層 1 3 の体積が大きくなり記憶の安定性が増す点で好ましいが、素子面積が増すので 1 つの基板に配置できる素子数が減り単位面積当たりのメモリ容量が少なくなる点で好ましくない。このため、短辺 S S の長さは 5 n m 以上 5 0 0 n m 以下が好ましく、1 0 n m 以上 3 0 0 n m 以下であることがより好ましい。

[0019] 有効磁界は、記録層 1 3 の磁化 m_{rec} に作用する磁界の一部であり、磁気抵抗素子 1 1 の外部から印加される外部磁界、記録層 1 3 の誘導磁気異方性による磁界、層間交換結合による磁界、交換バイアス磁界、記録層 1 3 以外の磁

性層からの漏洩磁界等の合成磁界である。

[0020] 磁気抵抗素子 11 の外部から印加される外部磁界としては、磁気抵抗素子 11 の近傍に永久磁石を配置して永久磁石の静磁界を用いてもよい。また、磁気抵抗素子 11 の近傍に配線を配置して直流電流を流して発生した磁界を用いてもよい。

[0021] 記録層 13 の誘導磁気異方性は、記録層 13 を磁界中成膜した場合や磁界中熱処理した場合に形成される磁気異方性である。記録層 13 は、Fe、Co、Ni、およびこれらの元素からなる合金に、B、C、N、Si、P および Cr の群からなる少なくとも 1 つの元素を添加した材料からなる場合、磁界中成膜または磁界中熱処理を行うことで、誘導磁気異方性が生じる。記録層 13 には誘導磁気異方性による内部磁界が生じる。

[0022] 層間交換結合は、記録層 13 の参照層 15 とは反対側に非磁性層を介して磁化固定層を設けることで、磁化固定層の磁化と記録層 13 の磁化との間に磁界が生じ、互いに反平行または平行になろうとする現象である。層間交換結合による磁界はこの作用により記録層 13 に生じる磁界である。

[0023] 交換バイアス磁界は、記録層 13 の参照層 15 とは反対側に接してバイアス層を設けることで、バイアス層から記録層 13 が受ける磁界である。バイアス層は、Cr、Mn、Fe、Co および Ni の群から選択された少なくとも一つの元素と、Ru、Rh、Pd、Ag、Os、Ir、Pt および Au の群から選択された少なくとも一つの元素と、を含む合金からなる。この合金は反強磁性を有することが好ましい。バイアス層を構成する合金の例としては、Pt-Mn 合金、Ir-Mn 合金、Fe-Mn 合金が挙げられる。

[0024] 記録層 13 以外の磁性層からの漏洩磁界とは、記録層 13 以外の磁性層から漏洩する磁界である。磁気抵抗素子 11 の積層体の一部として漏洩磁界を生じさせるための磁性層を設けてもよい。

[0025] 記録層 13 の磁化 m_{rec} には、有効磁界の他に、垂直の異方性磁界や形状磁気異方性による磁界も作用する。形状磁気異方性による磁界は、記録層 13 の面内形状に起因する磁界、つまり反磁界である。記録層 13 は、面内形状が

、その面内形状に外接する長方形で面積が最小となる長方形 $R T G$ が互いに異なる長さの短辺 $S S$ および長辺 $L S$ を有する形状である。このような形状の場合、記録層 1 3 が磁化している場合、その磁化と反対方向に内部磁界である反磁界が生じる。

[0026] 磁気抵抗素子 1 1 の記録層 1 3 および参照層 1 5 は磁性層である。磁性層は、例えば、 Fe 、 Co 、 Ni 、 Cr 、 Mn 、 Gd 、 Nd 、 Sm および Tb からなる群から選択された少なくとも 1 つの元素を含む。磁性層の厚さは、例えば、 0.5 nm 以上 10 nm 以下の範囲で設定されることが好ましい。

[0027] 記録層 1 3 は、参照層 1 5 の磁化 m_{ref} と比較して磁化 m_{rec} の方向が変化する易い磁性層（磁化自由層と称する。）を含む。参照層 1 5 は、磁化方向が変化する難い磁化固定層を含む。

[0028] 記録層 1 3 は、垂直磁気異方性を有することが好ましい。記録層 1 3 の磁化は、電圧パルスが印加されていない状態では、垂直磁気異方性と有効磁界の競合により膜面から垂直方向に傾いた方向を向く。

[0029] 記録層 1 3 は、 Co を含む磁性層、例えば、 $Co-Fe-B$ であることが、磁気抵抗効果が他の磁性材料よりも比較的大きい点で好ましい。

[0030] 記録層 1 3 は、 Co を含む磁性層と Pt および Pd の少なくとも 1 つを含む磁性層とが積層された積層体を用いることができる。記録層 1 3 は、 Co を含む磁性層と Pt および Pd の少なくとも 1 つを含む磁性層とが交互に積層された積層体を用いることができる。

[0031] 参照層 1 5 は、積層フェリ（ SAF ）構造の強磁性層／中間層／強磁性層を有してもよい。 SAF 構造は 2 つの強磁性層が反強磁性的に結合し、各々の磁化が反平行に向いている構造である。中間層は薄膜の導電層である。参照層 1 5 の磁化の向きはほぼ時間変化することなく同じ方向で固定されている。磁化の向きが積層方向に一致する場合を垂直磁化膜と呼び、磁化の向きが積層方向と直交する場合を面内磁化膜と呼ぶ。参照層 1 5 は、例えば、トンネル障壁層 1 4 から近い順に、 $Co-Fe-B$ を含む垂直磁化の積層膜／ Ru 層／ $CoPt$ を含む積層膜である。

[0032] トンネル障壁層 14 は、記録層 13 と参照層 15 との間に配置される。トンネル障壁層 14 は、トンネル障壁層として知られる非磁性材料の絶縁体、半導体、誘電体のいずれかを用いることができる。トンネル障壁層は、例えば、Mg、Si、Al、Ti、Zr、Hf、Ta、Zn、Sr、Bi および Ba からなる群から選択された少なくとも 1 つの元素を含む酸化物、窒化物またはフッ化物を含む。具体的には、例えば、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 AlN 、 Ta-O 、 Al-Zr-O 、 Bi_2O_3 、 MgF_2 、 CaF_2 、 SrTiO_3 、 AlLaO_3 、 Al-N-O 、 Si-N-O 等である。トンネル障壁層 14 は、例えば、非磁性半導体 (ZnO_x 、 InMn 、 GaN 、 GaAs 、 TiO_x 、 Zn 、 Te またはこれらに遷移金属がドーピングされたもの) 等を用いることもできる。

[0033] トンネル障壁層 14 は、Mg を含む酸化物であることが磁気抵抗効果が他の磁性材料よりも比較的大きい点で好ましい。トンネル障壁層 14 は、Mg と Al を含む酸化物であることが磁気抵抗効果がさらに大きい点で好ましい。

[0034] トンネル障壁層 14 の厚さは、1.2 nm 以上であることがジュール損失を抑制する点で好ましく、1.3 nm 以上であることがより好ましく、1.4 nm 以上であることがよりいっそう好ましく、1.5 nm 以上であることがさらに好ましく、1.6 nm 以上であることが特に好ましい。トンネル障壁層 14 の厚さは、4 nm 以下であることが高速読み出しの点で好ましい。

[0035] 本実施形態の磁気記憶装置 10 についてシミュレーションを行った。シミュレーションは、図 1 に示した記録層 13 の磁化の方向 (単位ベクトル $\mathbf{m} = (m_x, m_y, m_z) = (\sin\theta \cos\phi, \sin\theta \sin\phi, \cos\theta)$) の時間発展を表す下記式 (1) のランジュバン方程式を用いた。

[数1]

$$(1 + \alpha^2) \frac{d\mathbf{m}}{dt} = -\gamma_0 \mathbf{m} \times \{(\mathbf{H}_{\text{rec}} + \mathbf{h}) + \alpha [\mathbf{m} \times (\mathbf{H}_{\text{rec}} + \mathbf{h})]\} \quad \cdots (1)$$

ここで、 α はギルバートダンピング定数、 γ_0 は磁気回転比、 $\mathbf{H}_{\text{rec}}$ は記録層 13 に作用する全ての磁界を合成した合成磁界 (ベクトル)、 $\mathbf{h}$ は熱擾乱磁界

(ベクトル) である。熱擾乱磁界 h は下記式 (2) の関係を満たす。

[数2]

$$\begin{aligned}\langle h_i(t) \rangle &= 0, \\ \langle h_i(t) h_k(t') \rangle &= [2\alpha k_B T / (\gamma_0 \mu_0 M_s V_F)] \delta_{ik} \delta(t - t')\end{aligned} \quad \dots (2)$$

ここで、下添え字 $i, k = x, y, z$ であり、 k_B はボルツマン定数、 T は絶対温度、 μ_0 は透磁率、 M_s は飽和磁化、 V_F は記録層 1 3 の体積、 δ_{ik} はクロネッカーのデルタ、 $\delta(t - t')$ はディラックのデルタ関数であり、 $\langle \rangle$ は時間平均を表す。 t および t' は時刻である。式 (2) の後半は、ある時刻 t のランダム磁界は他の時刻 t' のランダム磁界によらず、ランダム磁界の成分 i, k が異なる場合には、それらの間の相関はないことを意味している。

[0036] 合成磁界 H_{rec} は、下記式 (3) で定義される。

[数3]

$$\mathbf{H}_{rec} = -\frac{1}{\mu_0 M_s} \nabla E \quad \dots (3)$$

ここで、 ∇ (ナブラ) は x, y および z 軸方向の勾配を求めるベクトル演算子である。 E はエネルギー密度であり、下記式 (4) で表される。

[数4]

$$\begin{aligned}E(m_x, m_y, m_z) &= \frac{1}{2} \mu_0 M_s^2 (N_x m_x^2 + N_y m_y^2 + N_z m_z^2) \\ &\quad + K_u (1 - m_z^2) - \mu_0 M_s \mathbf{m} \cdot \mathbf{H}_{eff} \quad \dots (4)\end{aligned}$$

ここで、右辺の第 1 項は反磁界エネルギー、第 2 項は異方性エネルギー、第 3 項はゼーマンエネルギーであり、 (N_x, N_y, N_z) は反磁界係数、 K_u は垂直磁気異方性定数、 H_{eff} は有効磁界を表す。上記式 (3) および (4) によれば、記録層 1 3 の磁化には合成磁界 H_{rec} が作用し、記録層 1 3 の磁化は、平衡状態では、エネルギー密度が最低となる方向 $\mathbf{m}^{(0)} = (m_x^{(0)}, m_y^{(0)}, m_z^{(0)})$ を向く。

[0037] 図 3 は、磁気抵抗素子の記録層の磁化の挙動の説明図である。 x 方向は、

記録層 1 3 の長軸（長辺）方向であり、 y 方向は記録層 1 3 の短軸（短辺）方向である。磁化 m は磁化の方向を示す単位ベクトルである。図 3 を図 1 と合わせて参照するに、有効磁界 H_{eff} が y 軸方向に印加され、記録層の磁化 m は書き込みの始状態では z 成分が正 ($m_z > 0$) であるとする。図 3 に示すように、記録層 1 3 の磁化の方向を球面座標系で表すと、 z 軸方向から角度 θ を有して緯度方向に倒れている。電圧パルス印加中に作用するトルクが、磁化 m の矢印の先を始点とした矢印で示されている。磁化 m にはダンピングトルクが合成磁界 H_{rec} へ向かう方向に生じ、歳差トルクが合成磁界 H_{rec} を軸として磁化を回転させる方向に生じる。

[0038] 磁気抵抗素子 1 1 への電圧パルス印加の書き込みモデルのシーケンスを以下のように設定した。この書き込みモデルの書き込みエラー率を上記 (1) 式のランジュバン方程式を用いてシミュレーションにより計算した。

[0039] 図 4 は、電圧パルス印加の書き込みモデルのシーケンスの説明図である。(a) および (b) の横軸は時間を表す。(a) の縦軸は磁気抵抗素子 1 1 に印加される電圧を表す。(b) の縦軸は記録層 1 3 に作用する実効的な垂直磁気異方性定数 K_{eff} を表し、 $K_{\text{eff}} = K_u - (1/2) \mu_0 M_s^2 (N_z - N_x)$ とした。

[0040] 最初に、温度が 0 K（ケルビン）において、磁気抵抗素子 1 1 に印加する電圧をゼロ、 $m_z > 0$ と仮定して平衡状態における磁化 m の方向をシミュレーションにより求める。次いで、図 4 を参照するに、(a) に示すように、室温（300 K）において、磁気抵抗素子 1 1 への印加電圧ゼロの状態 1 で 10 ナノ秒（ns）間緩和させた後、磁気抵抗素子 1 1 に電圧パルス（時間幅 t_p 、印加電圧 V_1 ）を印加（状態 2）し、その後印加電圧ゼロの状態 3 で 10 ナノ秒（ns）緩和させる。(b) に示すように、状態 1 および状態 3 における実効的な垂直磁気異方性定数 K_{eff} は $K_{\text{eff}}^{(0)}$ 、状態 2 における実効的な垂直磁気異方性定数 K_{eff} は $K_{\text{eff}}^{(V_1)}$ として磁化 m を求める。状態 3 の 10 ns の緩和終了時点の磁化 m が $m_z < 0$ の場合は磁化反転が生じたと判定する。 $m_z > 0$ の場合は最終的に磁化反転が生じていないため書き込みエラーと判定する。書

込みエラー率は、（エラーの頻度）／試行回数で定義する。本計算例では、試行回数は $10^5 \sim 10^6$ 回とした。

[0041] 第1の実施形態に係る磁気記憶装置のシミュレーションにおいて、磁気抵抗素子11および書込み条件について以下の各種パラメータを適用した。

－記録層の膜厚：1.1 nm

－磁気抵抗素子の接合面積： $289\pi \text{ nm}^2 (=17^2\pi \text{ nm}^2)$

－記録層の面内形状、アスペクト比（Aspect Ratio (AR)＝長軸／短軸）：

例1：円形、AR＝1（比較例として）、例2：楕円形、AR＝2、

例3：楕円形、AR＝3、例4：楕円形、AR＝4、例5：楕円形、

AR＝5

－反磁界係数（ N_x, N_y, N_z ）：

例1（0.04447, 0.04447, 0.91106）、

例2（0.02608, 0.06836, 0.90556）、

例3（0.01817, 0.08445, 0.89738）、

例4（0.013778, 0.096766, 0.889456）、

例5（0.0110, 0.1069, 0.8821）

－記録層の飽和磁化 M_s ： $0.955 \times 10^6 \text{ A/m}$

－磁気摩擦定数（ギルバートダンピング定数） $\alpha = 0.1$

－有効磁界 H_{eff} （記録層面内短軸方向）： $2000 \text{ e} \sim 16000 \text{ e}$

－実効的な垂直磁気異方性定数 K_{eff} ：

印加電圧がゼロの時、 $K_{\text{eff}}^{(0)} = 110 \text{ kJ/m}^3$ 、

電圧パルス（印加電圧 V_1 ）印加時、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = -200 \sim 50 \text{ kJ/m}^3$

m^3

－電圧パルスの時間幅 t_p ： $0.01 \text{ ns} \sim 1.00 \text{ ns}$

[0042] 図5は、磁気抵抗素子の記録層の磁化の始状態の分布の計算例を示す図である。図5は、図4に示した状態1経過後の記録層13の磁化の分布を示す。磁化方向の分布は、状態1での緩和までのシミュレーションを10万回試

行し、各回の状態 1 経過後の磁化方向を計算で求めたものである。 $K_{\text{eff}}^{(0)} = 110 \text{ kJ/m}^3$ 、 $H_{\text{eff}} = 8000 \text{ e}$ とした。図 5 の (a) は面内形状が例 1 の場合において有効磁界 H_{eff} を面内方向に印加したとき、(b) は面内形状が例 3 の場合において有効磁界 H_{eff} を面内の長軸方向に印加したとき、(c) は面内形状が例 3 の場合において有効磁界 H_{eff} を面内の短軸方向に印加したときである。(a) ~ (c) の上段の球面図は磁化 m の先端の位置を球面上に表したものである。(a) および (b) では、奥行方向が m の x 成分 (m_x)、横軸は m の y 成分 (m_y)、縦軸は m の z 成分 (m_z) を表す。(c) では、奥行方向が m の y 成分 (m_y)、横軸は m の x 成分 (m_x)、縦軸は m の z 成分 (m_z) を表す。(a) ~ (c) の下段の図は m_z のヒストグラムであり、横軸が m の z 成分 (m_z) を表し、縦軸が計数値を表す。

[0043] 図 5 (a) を参照するに、記録層 13 の面内形状が円 (例 1) の場合、球面図とヒストグラムでは m_z がマイナスの状態も存在して電圧パルスを印加前の緩和時間内に反転してしまう試行が存在することが分かる。磁化 m の z 成分 m_z の標準偏差は 0.0800 である。図 5 (b) を参照するに、記録層が $AR = 3$ (例 3) の面内形状であっても有効磁界 H_{eff} が長軸方向に印加されている場合は、球面図とヒストグラムでは m_z がマイナスの状態も存在して電圧パルスを印加前の緩和時間内に反転してしまう試行があることが分かる。磁化 m の z 成分 m_z の標準偏差は 0.0777 である。これらに対して、図 5 (c) を参照するに、記録層が $AR = 3$ (例 3 の面内形状であり有効磁界 H_{eff} が短軸方向に印加されている場合は、球面図とヒストグラムでは m_z がマイナスの状態が存在しない。磁化 m の z 成分 m_z の標準偏差は 0.0389 となり、例 1 の場合よりも極めてばらつきが小さくなっていることが分かる。さらに、例 3 の面内長軸方向に有効磁界を印加した場合よりも極めてばらつきが小さくなっていることが分かる。これにより、記録層 13 の面内形状が楕円形で有効磁界 H_{eff} を面内の短軸方向に印加することで、記録層 13 の磁化の始状態の分布の広がりを抑制できることが分かった。

[0044] 図 6 は、磁気抵抗素子の記録層の磁化の始状態のエネルギー密度を示す図

である。(a)は記録層の面内形状が例1の場合において有効磁界 H_{eff} を面内方向に8000 e印加したときを示す。(b)は記録層の面内形状が例3の場合において有効磁界 H_{eff} を面内の短軸方向に8000 e印加したときを示す。横軸は記録層の磁化のz成分 m_z を示し、縦軸は記録層13のエネルギー密度を示す。(a)においては有効磁界 H_{eff} はx方向で、始状態で磁化 m はy方向に向きにくいため、 $m_y=0$ として(4)式のエネルギー密度 E を m_z 依存性としてプロットしたものである。(b)においては有効磁界 H_{eff} はy方向で、始状態で磁化 m はx方向に向きにくいため、 $m_x=0$ として(4)式のエネルギー密度 E を m_z 依存性としてプロットしたものである。

[0045] 図6(a)を参照するに、 m_z が-0.9および0.9付近でエネルギー密度が極小値をとり、 m_z が0付近でエネルギー密度が最大値をとっている。最大値と極小値との差は、47 kJ/m³である。図6(b)を参照するに、 m_z が-0.95および0.95付近でエネルギー密度が極小値をとり、 m_z が0付近でエネルギー密度が最大値をとっている。最大値と極小値との差は、81 kJ/m³である。これらのことから、記録層13の面内形状が楕円形で有効磁界 H_{eff} を面内の短軸方向に印加した場合は、記録層13の面内形状が円形で面内方向に印加した場合よりも、形状磁気異方性によって、 m_z が0付近で最大となるエネルギー障壁が高いので、記録層13の磁化の始状態の分布の広がりを抑制できる。

[0046] 図7は、本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の書き込みエラー率の計算例を示す図(その1)である。横軸は有効磁界 H_{eff} であり、縦軸は書き込みエラー率の最小値 $(WER)_{\text{min}}$ である。例1～例5のそれぞれの面内形状と有効磁界の組み合わせにおいて、書き込みエラー率(WER)の電圧パルス時間幅 t_p 依存性を $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}=-200\sim50$ kJ/m³の範囲で計算して書き込みエラー率の最小値 $(WER)_{\text{min}}$ を得た。例2～例5について、記録層13の面内の反磁界の大きさを示す指標 $(M_s(N_y-N_x))$ は、それぞれ、510、800、1000、11500 eである。垂直磁気異方性による実効的な垂直磁界を $H_k^{\text{ef}} (=2K_{\text{eff}}/(\mu_0 M_s))$ とすると、 $0.2 \times H_k^{\text{ef}}$ は4600 eになる。図

7は、例2～例5について、 $0.2 \times H_k^{\text{eff}} < M_s (N_y - N_x)$ の場合である。

[0047] 図7を参照するに、書込みエラー率の最小値は、例1よりも例2～例5の最小値の方が小さい。すなわち、記録層13の面内形状が楕円形である場合に面内の短軸方向に有効磁界 H_{eff} を印加することで、円形の場合よりも書込みエラー率を低減することができる。さらに、書込みエラー率の最小値は、例1から例5へとアスペクト比が増加するに従って減少していることが分かる。このため、アスペクト比は大きい方が好ましい。一方で、アスペクト比が大きすぎると記録層が多磁区状態となりやすく記録の安定性が損なわれる。したがって、アスペクト比、すなわち図2における L_2/L_1 は、1よりも大きく5以下の範囲が好ましく、1.5以上4以下の範囲がより好ましく、2以上3.5以下の範囲がさらに好ましい。また、図7に示す例2～例5の計算結果から、有効磁界 H_{eff} は、 $0.2 \times H_k^{\text{eff}} < |H_{\text{eff}}| < M_s (N_y - N_x)$ の関係を満たすことが好ましい。

[0048] 図8は、書込み電圧パルスの時間幅と書込みエラー率との関係を示す図である。図8(a)は例1の $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}$ が 0 kJ/m^3 の場合を示し、図8(b)は例3の $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}$ が -60 kJ/m^3 の場合を示す。横軸は電圧パルスの時間幅を表し、縦軸は書込みエラー率を表す。

[0049] 図8(a)を参照するに、例1の円形の記録層の場合、書込み電圧パルスの時間幅が 0.43 ns で書込みエラー率が最小(2.6×10^{-4})となっている。これに対して、図8(b)を参照するに、例3の楕円形の記録層13の場合で面内の短軸方向に外部磁界を印加した場合は、書込み電圧パルスの時間幅が約 0.20 ns で書込みエラー率が最小(3.2×10^{-5})となっている。例3は例1よりも書込みエラー率が1桁低下していることが分かる。また、書込みエラー率が最小になる書込み電圧パルスの時間幅が例3は例1に対して50%程度になっており、高速書込みが可能であることが分かる。

[0050] 図9は、本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の書込みエラー率の計算例を示す図(その2)である。横軸は有効磁界 H_{eff} であり、縦軸は書込みエラー率の最小値 $(WER)_{\text{min}}$ である。図9は、記録層13の面内の反磁界の大き

さを示す指標 ($M_s (N_y - N_x)$) が垂直磁気異方性による実効的な垂直磁界 $H_{k^{eff}}$ についての $0.2 \times H_{k^{eff}}$ よりも小さい場合、すなわち $M_s (N_y - N_x) < 0.2 \times H_{k^{eff}}$ の場合のシミュレーションを行った。記録層の膜厚を 0.5 nm 、磁気抵抗素子の接合面積を $900 \pi \text{ nm}^2$ 、記録層の面内形状は例2と相似形のアスペクト比2の楕円形とした。この場合は、 $M_s (N_y - N_x)$ は 1800 e であり、 $0.2 \times H_{k^{eff}}$ は 4600 e である。

[0051] 図9を参照するに、書込みエラー率は、有効磁界 H_{eff} が約 $4500 \text{ e} \sim 5200 \text{ e}$ 付近で最小値をとることが分かる。このことから、 $M_s (N_y - N_x) < 0.2 \times H_{k^{eff}}$ の場合は、有効磁界 H_{eff} は、 $0.2 \times H_{k^{eff}}$ とほぼ等しいこと、すなわち、 $M_s (N_y - N_x) < |H_{eff}| \div 0.2 \times H_{k^{eff}}$ の関係を満たすことが好ましいことが分かる。

[0052] [第2の実施形態]

第2の実施形態に係る磁気記憶装置は、書込み電圧パルスの時間幅の精度について第1の実施形態よりも低い場合でも低い書込みエラー率が得られる磁気抵抗素子を備える。第2の実施形態に係る磁気記憶装置の要部の概略構成および磁気抵抗素子の記録層の平面図は、各々、第1の実施形態の図1、図2と同様であるので構成要素について同じ符号を用いて、図示およびその説明を省略する。

[0053] 第2の実施形態に係る磁気記憶装置の磁気抵抗素子11は、記録層13の磁気摩擦定数（ギルバートダンピング定数） α が比較的大きな場合である。ギルバートダンピング定数 α が大きな記録層13を含む磁気抵抗素子11では、始状態の熱揺らぎを抑制することで書込みエラー率を低減できる。また、書込みエラー率が書込み電圧パルスの時間幅の長い範囲に亘って低いので、書込み電圧パルスに対して高精度な時間幅を必要としないという効果がある。

[0054] 第2の実施形態に係る磁気記憶装置のシミュレーションにおいて、磁気抵抗素子11および書込み条件について以下の各種パラメータを適用した。

－記録層の膜厚： 2 nm

－磁気抵抗素子の接合面積： $19600\pi\text{nm}^2 (=140^2\pi\text{nm}^2)$

－記録層の面内形状、アスペクト比（Aspect Ratio (AR)
＝長軸／短軸）：

例6：円形、 $AR=1$ （比較例として）、例7：楕円形、 $AR=3$ （
第2の実施形態）

－反磁界係数（ N_x , N_y , N_z ）：

例6（0.01325, 0.01325, 0.97350）、

例7（0.00535, 0.02574, 0.96891）

－記録層の飽和磁化 M_s ： $1.400\times 10^6\text{A/m}$

－磁気摩擦定数（ギルバートダンピング定数） α ：

例6： $\alpha=0.17$ 、例7： $\alpha=0.20$

－有効磁界 H_{eff} （記録層面内短軸方向）： 4000e

－実効的な垂直磁気異方性定数 K_{eff} ：

印加電圧がゼロの時、 $K_{\text{eff}}^{(0)}=70\text{kJ/m}^3$ 、

電圧パルス（印加電圧 V_1 ）印加時、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}$ ：

例6： $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}=33\text{kJ/m}^3$ 、例7： $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}=10\text{kJ/m}^3$

－電圧パルスの時間幅 t_p ： $0.5\text{ns}\sim 10.0\text{ns}$

[0055] 図10は、第2の実施形態の書き込み電圧パルスの時間幅と書き込みエラー率との関係を示す図である。図10を参照するに、例6および例7の両方で書き込み電圧パルスの時間幅 t_p が $1.0\text{ns}\sim 10.0\text{ns}$ の長い範囲に亘って書き込みエラー率が低い。これは、図8に示した例1および例3の場合と異なり、時間幅 t_p の高精度な制御を必要としない。このような書き込み手法を制動書き込みと呼ぶ。制動書き込みにおいては、磁気ダンピング（磁化運動の摩擦）を利用して書き込み後の状態へ短時間で緩和させるため、 α は0.05以上0.5以下であることが好ましい。この比較的大きな α を得るため、記録層13は、5d遷移金属であるHf、Ta、W、Os、Ir、PtおよびAuのうちいずれか一つ以上を含むことが好ましい。

[0056] 例6と例7とを比較すると、例6の記録層の面内形状が円形で有効磁界 H_{eff}

が記録層の面内方向に印加した場合よりも、例 7 の記録層 1 3 の面内形状が楕円形であり有効磁界 H_{eff} が記録層の面内短軸方向に印加した場合の方が、書込みエラー率が 2 桁程低い。例 7 では、第 1 の実施形態と同様の効果を用いて例 6 よりも書込みエラー率が低減される。したがって、制動書込みにおいても $0.2 \times H_k^{\text{eff}} < M_s (N_y - N_x)$ の場合、有効磁界 H_{eff} は、 $0.2 \times H_k^{\text{eff}} < |H_{\text{eff}}| < M_s (N_y - N_x)$ の関係を満たすことが好ましい。 $M_s (N_y - N_x) < 0.2 \times H_k^{\text{eff}}$ の場合は、有効磁界 H_{eff} は、 $0.2 \times H_k^{\text{eff}}$ とほぼ等しいこと、すなわち、 $M_s (N_y - N_x) < |H_{\text{eff}}| \div 0.2 \times H_k^{\text{eff}}$ の関係を満たすことが好ましい。

[0057] 例 7 では、 $K_{\text{eff}}^{(0)} = 70 \text{ kJ/m}^3$ 、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = 33 \text{ kJ/m}^3$ の例を示したが、記録層 1 3 の面内形状が楕円形である場合、以下の関係を満たす $K_{\text{eff}}^{(0)}$ 、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}$ が制動書込みを起こすために好ましい。

[0058] (1) $h_{\text{eff}} \leq N_y - N_x$ の場合、

[数5]

$$\kappa_{\text{eff}}^{(+V_1)} > 0 \quad \text{かつ}$$

$$\kappa_{\text{eff}}^{(+V_1)} < \frac{h_{\text{eff}}^2 - 2h_{\text{eff}}m_y^{(0)}(N_y - N_x) + (N_y - N_x) \left[N_z - N_x - (m_y^{(0)})^2 (N_z - N_y) \right]}{2 \left[1 - (m_y^{(0)})^2 \right] (N_y - N_x)} - \frac{1}{2} (N_z - N_x)$$

(2) $N_y - N_x < h_{\text{eff}} \leq 2 \kappa_{\text{eff}}^{(0)} + N_y - N_x$ の場合、

[数6]

$$\kappa_{\text{eff}}^{(+V_1)} > \frac{h_{\text{eff}} + N_x - N_y}{2} \quad \text{かつ} \quad \kappa_{\text{eff}}^{(+V_1)} < \frac{h_{\text{eff}}}{m_y^{(0)} + 1} - \frac{N_y - N_x}{2}$$

なお、磁気エネルギーのスケールに依存しないため、ここでは次の無次元化パラメータを用いた。

[数7]

$$h_{\text{eff}} = H_{\text{eff}} / M_s, \quad \kappa_{\text{eff}}^{(+V_1)} = K_{\text{eff}}^{(+V_1)} / (\mu_0 M_s^2), \quad \kappa_{\text{eff}}^{(0)} = K_{\text{eff}}^{(0)} / (\mu_0 M_s^2),$$

$$m_y^{(0)} = h_{\text{eff}} / (2\kappa_{\text{eff}}^{(0)} + N_y - N_x)$$

[0059] [第 3 の実施形態]

第 3 の実施形態に係る磁気記憶装置は、磁気抵抗素子 1 1 の記録層 1 3 に

印加する有効磁界が記録層 1 3 の面内の短辺方向（記録層 1 3 が楕円形の場合の短軸方向）に加えて、膜面に垂直成分、つまり面直成分を有する。第 3 の実施形態に係る磁気記憶装置の要部の概略構成および磁気抵抗素子の記録層の平面図は、各々、第 1 の実施形態の図 1、図 2 と同様であるので構成要素について同じ符号を用いて、図示およびその説明を省略する。

[0060] 第 3 の実施形態に係る磁気記憶装置のシミュレーションにおいて、磁気抵抗素子 1 1 および書き込み条件について以下の各種パラメータを適用した。

－記録層の膜厚：1.1 nm

－磁気抵抗素子の接合面積： $289\pi\text{ nm}^2 (=17^2\pi\text{ nm}^2)$

－記録層の面内形状、アスペクト比（Aspect Ratio (AR)
＝長軸／短軸）：

例 8：円形、AR = 1（比較例として）、

例 9：楕円形、AR = 3

－反磁界係数（ N_x , N_y , N_z ）：

例 8（0.04447, 0.04447, 0.91106）、

例 9（0.01817, 0.08445, 0.89738）

－記録層の飽和磁化 M_s ： $0.955 \times 10^6 \text{ A/m}$

－磁気摩擦定数（ギルバートダンピング定数） $\alpha = 0.1$

－有効磁界 H_{eff} ：

記録層面直（ $-z$ ）方向の成分： 1000 e 、

記録層面内短軸方向の成分：

例 8： 4000 e 、例 9： 8000 e

－実効的な垂直磁気異方性定数 K_{eff} ：

印加電圧がゼロの時、 $K_{\text{eff}}^{(0)} = 110\text{ kJ/m}^3$ 、

電圧パルス（印加電圧 V_1 ）印加時、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)}$ ：

例 8、 $+z$ 方向から $-z$ 方向への磁化反転： $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = 38\text{ kJ/m}^3$

例 9、 $+z$ 方向から $-z$ 方向への磁化反転： $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = 26\text{ kJ/m}^3$

例 8、 $-z$ 方向から $+z$ 方向への磁化反転： $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = -10\text{ kJ/m}^3$

m^3

例 9、 $-z$ 方向から $+z$ 方向への磁化反転： $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = -80 \text{ kJ} /$

m^3

—電圧パルスの時間幅 t_p ：

例 8 と例 9、 $+z$ 方向から $-z$ 方向への磁化反転： $t_p = 10 \text{ ns}$

例 8、 $-z$ 方向から $+z$ 方向への磁化反転： $t_p = 0.37 \text{ ns}$

例 9、 $-z$ 方向から $+z$ 方向への磁化反転： $t_p = 0.18 \text{ ns}$

以下、 $+z$ 方向から $-z$ 方向への磁化反転方向を第 1 磁化反転方向、 $-z$ 方向から $+z$ 方向への磁化反転方向を第 2 磁化反転方向と称する。本実施形態では、有効磁界 H_{eff} の面直成分を $-z$ 方向に設定した形態について説明する。

[0061] 第 1 磁化反転方向が生じる書き込みでは、有効磁界 H_{eff} の $-z$ 方向の成分により終状態の磁化方向が安定化され、制動書き込みが起こり、例 8 では WER は 0.0378 、例 9 では WER は 0.0542 であり、 WER は同程度である。

[0062] 一方、第 2 磁化反転方向が生じる書き込みでは、有効磁界 H_{eff} の $-z$ 方向の成分により終状態の磁化方向が不安定化される。例 8 では、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = -10 \text{ kJ} / \text{m}^3$ 、 $t_p = 0.37 \text{ ns}$ において $(WER)_{\min} = 0.00633$ が得られる。有効磁界 H_{eff} が $-z$ 方向の成分を含まない例 1 での $(WER)_{\min} = 0.00026$ と比較すると、約 24 倍も $(WER)_{\min}$ が増加している。それに対し、例 9 では、 $K_{\text{eff}}^{(+V_1)} = -80 \text{ kJ} / \text{m}^3$ 、 $t_p = 0.18 \text{ ns}$ において $(WER)_{\min} = 0.00014$ が得られる。有効磁界 H_{eff} が $-z$ 方向の成分を含まない例 3 での $(WER)_{\min} = 0.000032$ と比較すると、 $(WER)_{\min}$ は増加するものの増加は約 4.3 倍だけにとどまる。

[0063] なお、本実施形態では、有効磁界 H_{eff} の面直成分を $+z$ 方向に設定してもよく、その場合は、 $-z$ 方向から $+z$ 方向への磁化反転方向が第 1 磁化反転方向、 $+z$ 方向から $-z$ 方向への磁化反転方向が第 2 磁化反転方向となり、上述した本実施形態の作用および効果が奏される。

[0064] 図 11 は、本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の概略構成図である。

図 1 1 を図 1 と合わせて参照するに、磁気記憶装置 1 0 0 は、図 1 に示した磁気抵抗素子 1 1 の構成を有する複数の磁気抵抗素子 1 1 0 と、各々の磁気抵抗素子 1 1 0 とを絶縁分離する絶縁部 1 2 0 と、制御部 1 2 と、第 1 配線 1 2 1 と、第 2 配線 1 2 2 と、スイッチ 1 2 3 とを含む。制御部 1 2 は、第 1 配線 1 2 1、第 2 配線 1 2 2 およびスイッチ 1 2 3 を介して各々の磁気抵抗素子 1 1 0 に書き込み用の電圧パルスを印加して書き込みを行い、また、読出し用の電圧パルスを印加して読出しを行う。制御部 1 2 は、書き込み用の電圧パルスは単極性のパルスであることが好ましく、これによって磁気抵抗素子 1 1 0 の双方向の書き込みが可能である。

[0065] 磁気抵抗素子 1 1 0 は、記録層を含む多層膜 1 1 1 と、参照層 1 1 2 と、多層膜 1 1 1 と参照層 1 1 2 とに挟まれるトンネル障壁層 1 1 3 と、多層膜 1 1 1 の上側に接する第 1 電極 1 1 4 と、参照層 1 1 2 の下側に接する第 2 電極 1 1 5 とを含む。第 1 電極 1 1 4 には第 1 配線 1 2 1 が電氣的に接続される。第 2 電極 1 1 5 には、スイッチ 1 2 3 の一方の端子 1 2 3 a が電氣的に接続される。スイッチ 1 2 3 の他方の端子 1 2 3 b は第 2 配線 1 2 2 に電氣的に接続される。

[0066] 多層膜 1 1 1 は、例えば、磁化自由層／非磁性層／磁化固定層の積層構造（不図示）を有してもよいし、磁化自由層の単層であっても構わない。磁気抵抗素子 1 1 0 は、キャップ層、保護膜、シード層、バッファ層等（不図示）を適宜設けることができる。

[0067] 磁気記憶装置 1 0 0 は、基板上に、スパッタ法、真空蒸着法、化学気相成長（CVD）法等により、第 1 電極 1 1 4 または第 2 電極 1 1 5、シード層、バッファ層等を積層し、その上に多層膜 1 1 1、トンネル障壁層 1 1 3、参照層 1 1 2 等を積層して形成してもよい。また、図 1 1 では、記録層を含む多層膜 1 1 1 は参照層 1 1 2 よりも上側にあるが、参照層 1 1 2 の下側に多層膜 1 1 1 を積層してもよい。

[0068] 磁気記憶装置 1 0 0 は、基板上に磁気抵抗素子 1 1 0 を形成し、次いで他の基板に形成された第 1 配線 1 2 1、第 2 配線 1 2 2、スイッチ 1 2 3 等を

含む回路に、磁気抵抗素子 11 側を回路に圧着して接合し、最後に磁気抵抗素子 110 から基板を除去するプロセス技術、いわゆる 3 次元積層プロセス技術を用いて形成してもよい。

[0069] 第 1 電極 114 および第 2 電極 115 は、非磁性の導電材料からなり、例えば、Ta、Ru、W、Ir、Au、Ag、Cu、Al、Cr、Pt および Pd からなる群から選択された少なくとも 1 つ元素を含む。第 1 電極 114 および第 2 電極 115 の厚さは、1 nm 以上 200 nm 以下であることが好ましい。第 1 電極 114 および第 2 電極 115 の厚さ (t_{he}) は、図 2 に示した記録層 13 の面内形状における短辺 SS の長さ L_1 または長辺 LS の長さ L_2 よりも大きくかつ 200 nm 以下、すなわち、 L_1 または $L_2 < t_{he} \leq 200 \text{ nm}$ であることがさらに好ましい。これにより、第 1 電極 114 および第 2 電極 115 は、良好な平坦性と十分低い抵抗値とが得られる。

[0070] 絶縁部 120 は、非磁性の絶縁性化合物を含む。絶縁性化合物は、例えば、Si、Al、Ti、Mg および Ta からなる群より選択された少なくとも一つの元素の、酸化物、窒化物またはフッ化物である。

[0071] 図 12 は、本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の動作例の説明図（その 1）である。以下、図 11 を合わせて参照して説明する。図 12 (a) および (b) の横軸は時間を表し、縦軸は第 1 配線 121 と第 2 配線 122 との間に印加される信号の電圧 V を表す。信号は、磁気抵抗素子 110 の記録層を含む多層膜 111 と参照層 112 との間に印加される信号に実質的に対応する。

[0072] [書込みおよび読出し動作例]

図 12 (a) を参照するに、情報の書込み動作の一例として、磁気記憶装置 100 の制御部 12 は、スイッチをオン (ON) にして第 1 配線 121 と第 2 配線 122 との間に第 1 パルス P_1 (パルス高さ H_1 、パルス幅 T_1) を印加する第 1 動作 OP_1 を行う。第 1 動作 OP_1 において記録層を含む多層膜 111 と参照層 112 との間に第 1 パルス P_1 が供給される。記録層 13 には図 1 および図 2 で述べた有効磁界を印加する。有効磁界は第 1 動作 O

P 1 の動作時間に関わらず印加したままの状態でもよく、第 1 動作 O P 1 を行うよりも前から印加し始めてもよく、第 1 パルス P 1 と同時に印加してもよい。第 1 パルス P 1 により、多層膜 1 1 1 に含まれる記録層の磁化が反転して多層膜 1 1 1 と参照層 1 1 2 との間の電気抵抗値が変化し、磁気抵抗素子 1 1 0 に記憶された情報が書き換えられる。なお、多層膜 1 1 1 と参照層 1 1 2 との間の電気抵抗値の変化は、第 1 電極 1 1 4 と第 2 電極 1 1 5 との間の電気抵抗値の変化（つまり磁気抵抗素子 1 1 0 の電気抵抗値の変化）に対応し、さらに第 1 配線 1 2 1 と第 2 配線 1 2 2 との間の電気抵抗値の変化に対応する。

[0073] 第 1 パルス P 1 を供給前の電気抵抗値 R を第 1 電気抵抗値 R 1、供給後の電気抵抗値 R を第 2 電気抵抗値 R 2 とすると、第 2 電気抵抗値 R 2 は第 1 電気抵抗値 R 1 とは異なる。これらの電気抵抗値 R 1、R 2 は、多層膜 1 1 1 に含まれる記録層の磁化と参照層 1 1 2 の磁化との相対的な方向に基づく。例えば、磁化の相対的な方向が平行である場合よりも反平行の場合の方が電気抵抗値 R が高い。電気抵抗値 R が互いに異なる複数の状態は、各々記憶される情報に対応する。第 1 動作 O P 1 によって、磁化の相対的な方向が変化して多層膜 1 1 1 と参照層 1 1 2 との間の電気抵抗値 R が変化する。

[0074] 図 1 2 (b) を参照するに、制御部 1 2 は、第 1 動作 O P 1 を行う前に、記憶された情報の読出し動作として、スイッチ 1 2 3 をオンにして第 1 配線 1 2 1 と第 2 配線 1 2 2 との間に第 2 パルス P 2（パルス高さ H 2）を印加する第 2 動作 O P 2 を行ってもよい。第 2 パルス P 2 の極性は、第 1 パルス P 1 の極性と同じ極性でもよく逆極性でもよい。第 2 パルス P 2 の極性が第 1 パルス P 1 の極性と逆極性の場合は誤書き込み防止の観点から好ましい。なお、第 2 パルス P 2 の極性が第 1 パルス P 1 の極性と同極性の場合はパルス高さ H 2 を $|H 2| < |H 1|$ の関係となるように設定する。第 2 動作 O P 2 の後の多層膜 1 1 1 と参照層 1 1 2 との間の電気抵抗値（第 3 電気抵抗値 R 3）は、第 1 動作 O P 1 の後の第 2 電気抵抗値 R 2 とは異なる。第 3 電気抵抗値 R 3 は、例えば第 1 電気抵抗値 R 1 と同じである。

- [0075] このように逆極性を有する第2パルスP2を用いる場合、第2パルスP2の高さの絶対値（ $|H2|$ ）は、第1パルスP1（書込みパルス）の高さの絶対値（ $|H1|$ ）よりも小さくてもよく、大きくてもよく、同じでもよい。これにより、本実施形態では記録層の磁気異方性を電圧により制御しているので、第1パルスP1に対して逆極性の第2パルスを用いることで、読出し時に記録層の磁化方向が変化することを抑制できる。
- [0076] 例えば、第2パルスP2の高さの絶対値を第1パルスの高さの絶対値と同じにした場合でも、第2動作OP2の第2パルスP2の印加前後の電気抵抗値Rの差の絶対値（つまり、第1電気抵抗値R1と第3電気抵抗値R3との差の絶対値）は、第1動作OP1の第1パルスの印加前後の電気抵抗値の差の絶対値（つまり、第1電気抵抗値R1と第2電気抵抗値R2との差の絶対値）よりも小さい。すなわち、第1パルスP1とは逆極性の第2パルスP2を第1パルスP1と同じ高さの電圧パルスを印加しても情報の書き換えが生じない。
- [0077] なお、制御部12は、情報を書き換えない場合は、第2動作OP2を行い、その後は第1動作OP1を行わないという動作を行ってもよい。
- [0078] 制御部12は、パルス高さH1、時間幅T1の第1パルスP1を磁気抵抗素子110に印加することで、磁気抵抗素子110の情報の書き換えが可能となり、磁気抵抗素子110は、高抵抗状態から低抵抗状態、または低抵抗状態から高抵抗状態に変化する。適切なパルス高さH1は複数回またはより多くの回数の第1動作OP1を行ってその前後の電気抵抗値R1、R2を測定して所望の変化が得られた確率を求めることで決定できる。パルス高さH1は、低いほど消費電力が小さくなる。制御部12が出力可能なパルス高さH1の最高値は1.8V以下が好ましく、1.5V以下がより好ましく、1.2V以下がよりいっそう好ましく、0.9V以下がさらに好ましく、0.7V以下が特に好ましい。
- [0079] 第1の実施形態の書込みと第3の実施形態の第2磁化反転方向の磁化反転が生じる書込みにおいては、適切な時間幅T1の2倍、つまり $2 \times T1$ の時

間幅の第1パルスP1を印加すると、印加前後で電気抵抗値の変化が生じる確率が低下するので適切ではない。一方、第2の実施形態の書込みと第3の実施形態の第1磁化反転方向の磁化反転が生じる書込みにおいては、第1パルスP1の時間幅は適切な時間幅T1よりも長くても構わない。しかし時間幅が長くなるほど消費電力が大きくなるので不必要にパルス時間幅を長くすることは好ましくない。また、第1～第3の実施形態において、適切な時間幅T1よりも短い時間幅、例えばT1の30%以下の時間幅は好ましくない。

[0080] 図13は、本発明の一実施形態に係る磁気記憶装置の動作例の説明図（その2）である。以下、図11を合わせて参照して説明する。図13の横軸および縦軸は図12と同様である。

[0081] 図13を参照するに、第1動作OP1の書込みパルスは、時間幅T1のパルスであるが、所定の高さH1に達する立ち上がりにかかる時間 τ_R と、電圧0への立ち下がりにかかる時間 τ_F を有する。例えば、第1の実施形態と第2の実施形態と第3の実施形態の第2磁化反転方向2においては、時間 τ_R は、時間 τ_F と同じかそれよりも小さいことが好ましい。時間 τ_R は、書込み安定化の観点から短いほど好ましく、ゼロに近いことが好ましい。第1～第3の実施形態において、時間 τ_F は、長い方が好ましいが消費電力の観点からは過度に長くないことが好ましく、実質的に0ns以上で10ns以下であることが好ましい。なお、図示を省略するが、図12（b）で示した第2動作OP2の第2パルスP2の立ち上がりにかかる時間および立ち下がりにかかる時間も第1パルスP1の立ち下がりにかかる時間と同様である。

[0082] 以上、本発明の好ましい実施形態について詳述したが、本発明に係る特定の実施形態に限定されるものではなく、請求の範囲に記載された本発明の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。例えば、上記複数の実施形態を互いに組み合わせてもよい。なお、上記のマクロスピン・シミュレーションは、C言語で作成したシミュレーションプログラムを用いて実施した。

符号の説明

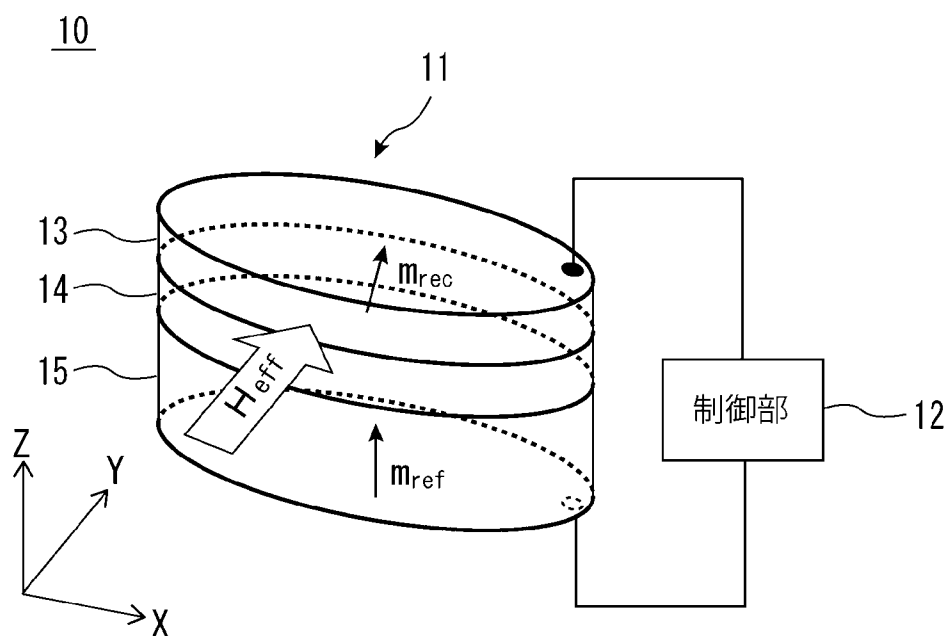
[0083] 1 0, 1 0 0 磁気記憶装置
1 1, 1 1 0 磁気抵抗素子
1 2 制御部
1 3 記録層
1 4, 1 1 3 トンネル障壁層
1 5, 1 1 2 参照層
1 1 1 多層膜

請求の範囲

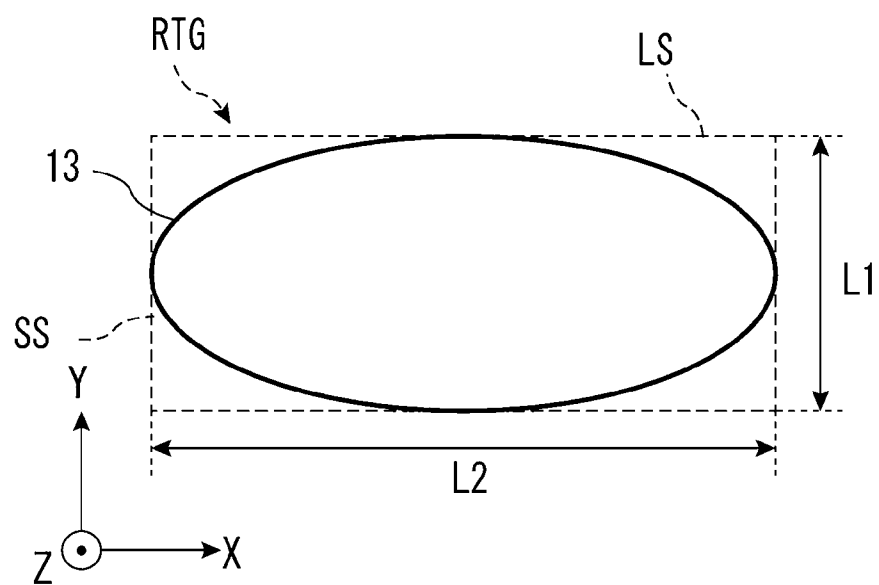
- [請求項1] 第1の磁性層を含む記録層と、トンネル障壁層と、第2の磁性層を含む参照層との積層構造を有する磁気抵抗素子と、
制御部と、を備え、
前記記録層の面内形状は、該面内形状に外接し面積が最小となる長方形が互いに異なる長さの短辺および長辺を有する形状であり、
前記記録層に書込み時に、有効磁界を前記記録層の面内の前記短辺方向に印加しながら、前記制御部が前記磁気抵抗素子に電圧パルスを印加する、磁気記憶装置。
- [請求項2] 前記記録層に書込み時の前記電圧パルスが単極性のパルス電圧であり、該単極性の電圧パルスの印加により前記記録層に双方向の磁化反転を生じさせる、請求項1記載の磁気記憶装置。
- [請求項3] 前記記録層が垂直磁気異方性を有する、請求項2記載の磁気記憶装置。
- [請求項4] 前記記録層がC o - F e - Bを含む、請求項2記載の磁気記憶装置。
- [請求項5] 前記記録層がH f、T a、W、O s、I r、P tおよびA uのうちいずれか一つ以上を含む、請求項2記載の磁気記憶装置。
- [請求項6] 前記有効磁界が前記記録層の膜面に対して垂直な成分をさらに有する、請求項2記載の磁気記憶装置。
- [請求項7] 前記トンネル障壁層がM gを含む酸化物である、請求項2項記載の磁気記憶装置。
- [請求項8] 前記トンネル障壁層がM gとA lを含む酸化物である、請求項2記載の磁気記憶装置。
- [請求項9] 前記トンネル障壁層の厚さが1.2nm以上である、請求項2記載の磁気記憶装置。
- [請求項10] 前記記録層が垂直磁気異方性を有する、請求項1記載の磁気記憶装置。

- [請求項11] 前記記録層がC o - F e - Bを含む、請求項1記載の磁気記憶装置。
。
- [請求項12] 前記記録層がH f、T a、W、O s、I r、P tおよびA uのうちいずれか一つ以上を含む、請求項1記載の磁気記憶装置。
- [請求項13])
前記有効磁界が前記記録層の膜面に対して垂直な成分をさらに有する、請求項1記載の磁気記憶装置。
- [請求項14] 前記トンネル障壁層がM gを含む酸化物である、請求項1記載の磁気記憶装置。
- [請求項15] 前記トンネル障壁層がM gとA lを含む酸化物である、請求項1記載の磁気記憶装置。
- [請求項16] 前記トンネル障壁層の厚さが1 . 2 n m以上である、請求項1記載の磁気記憶装置。

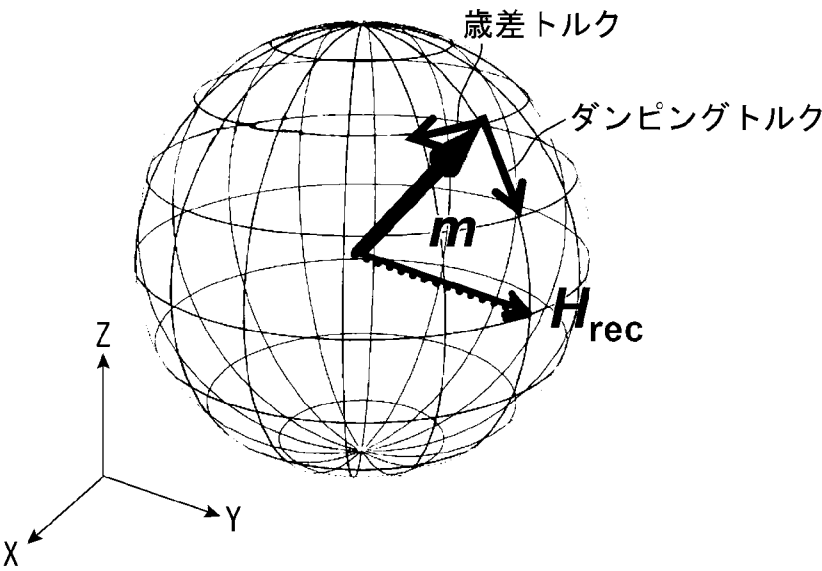
[図1]



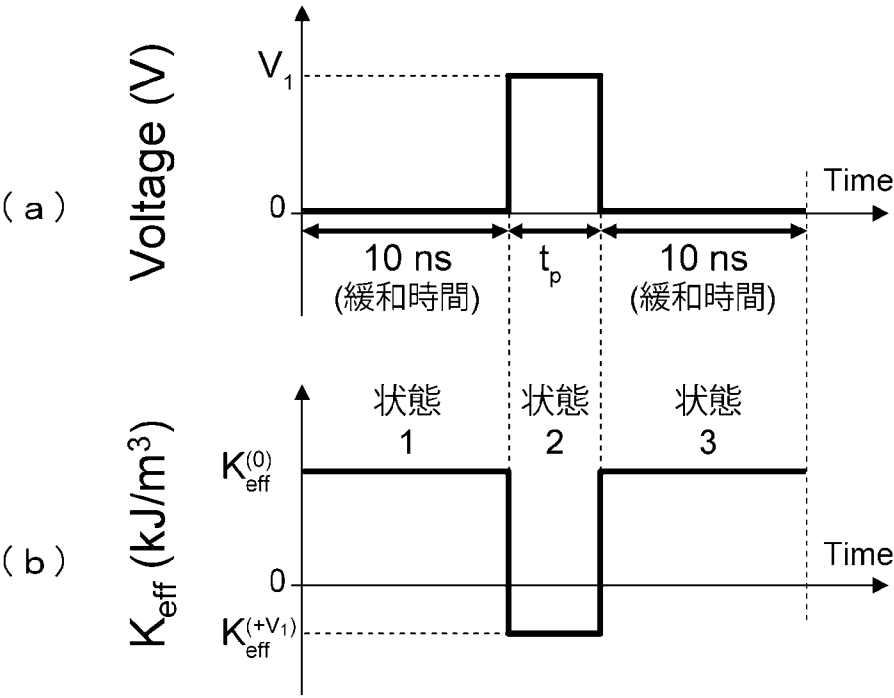
[図2]



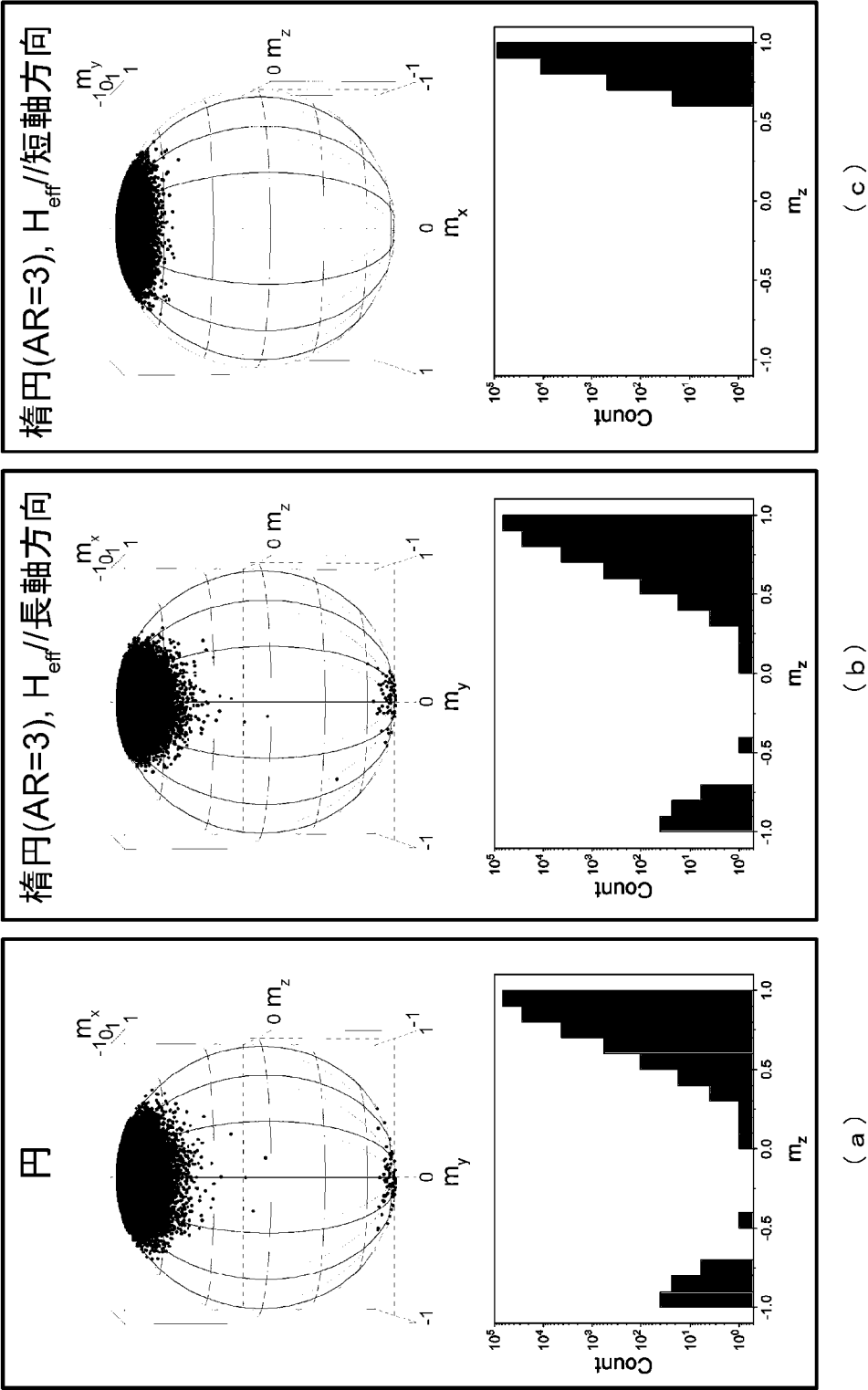
[図3]



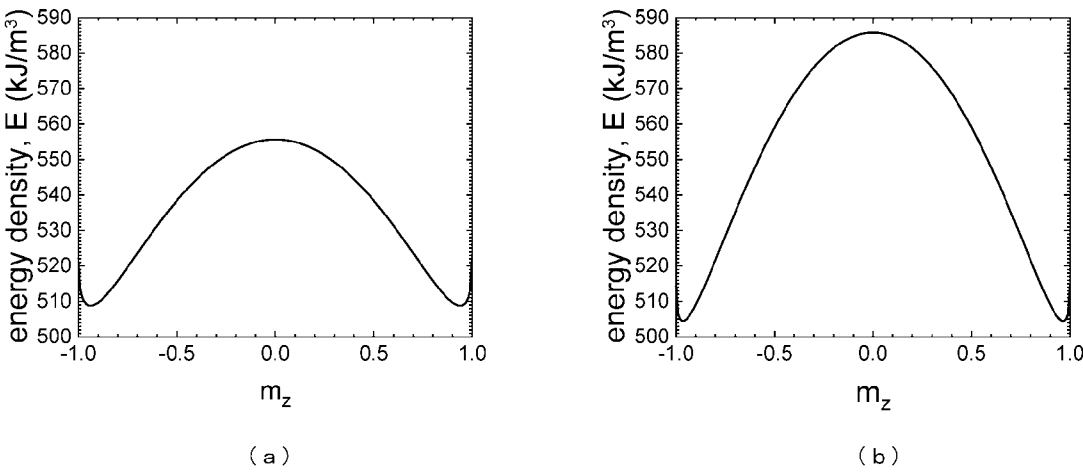
[図4]



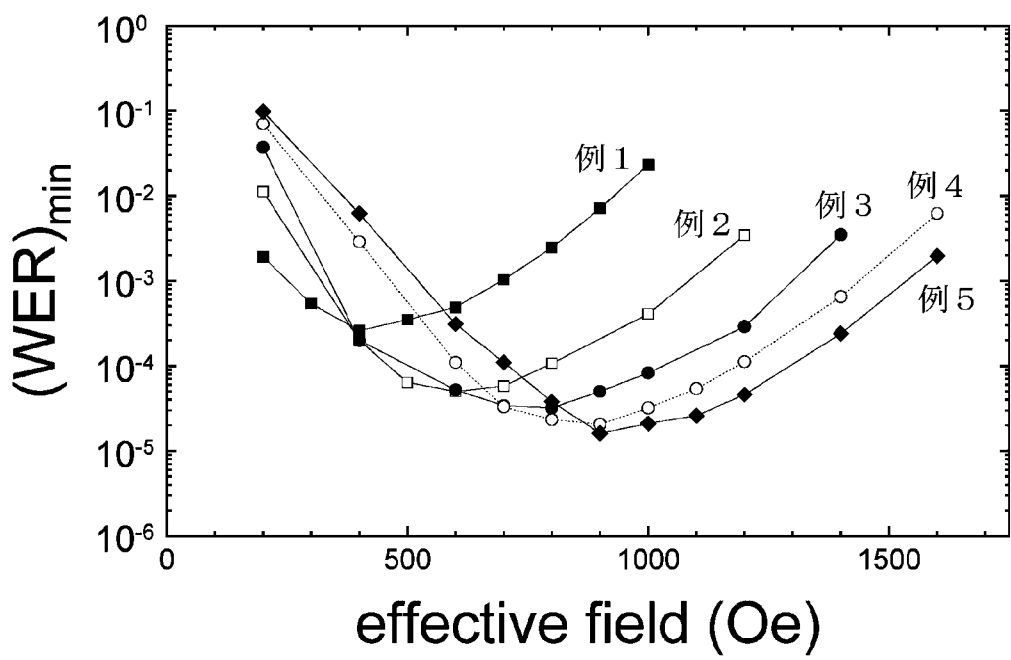
[図5]



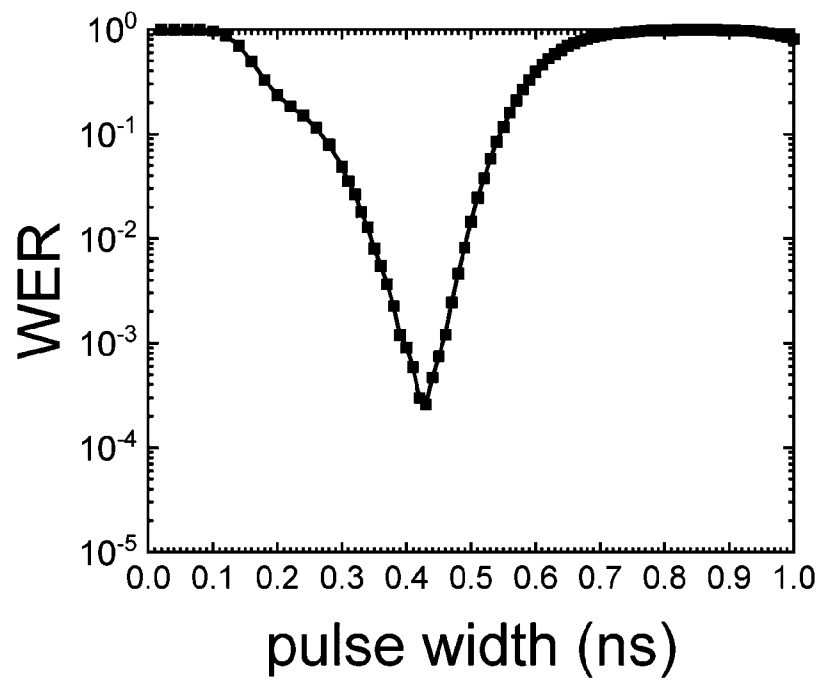
[図6]



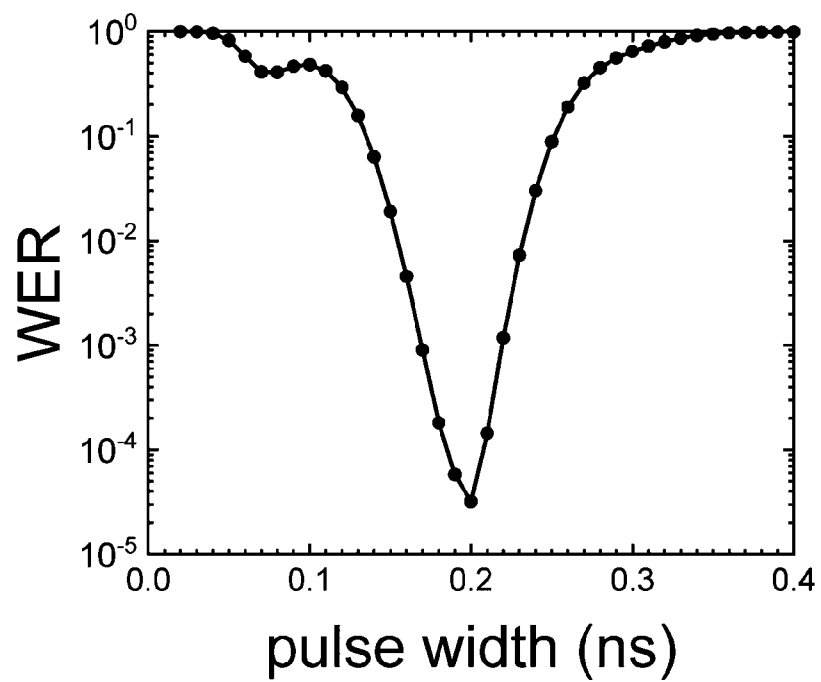
[図7]



[図8]

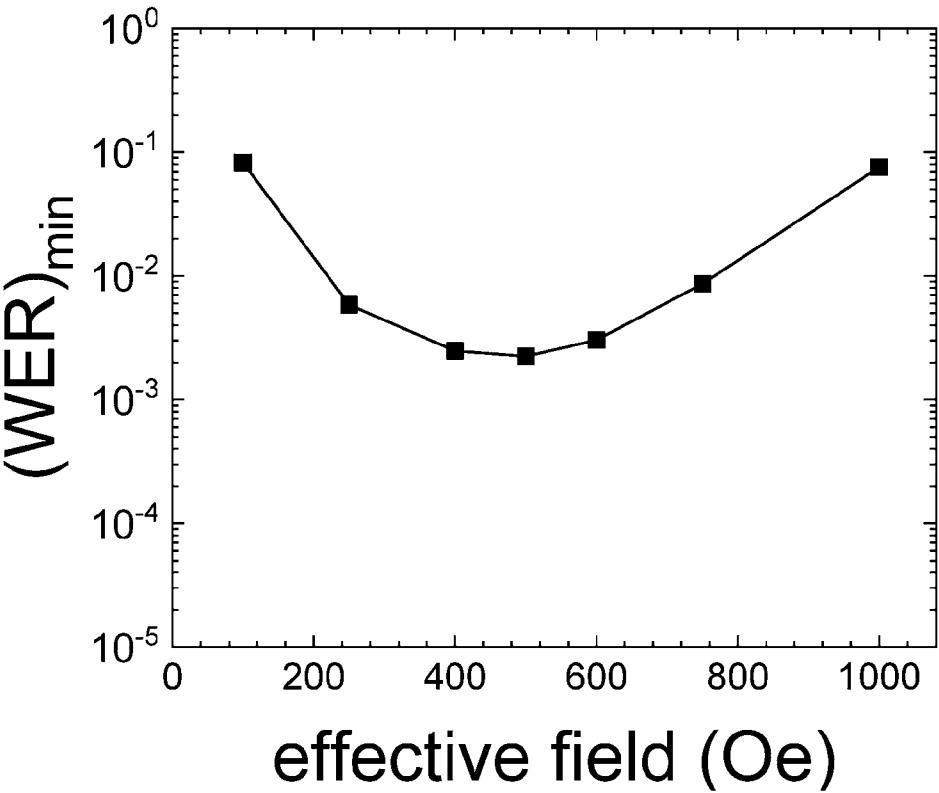


(a)

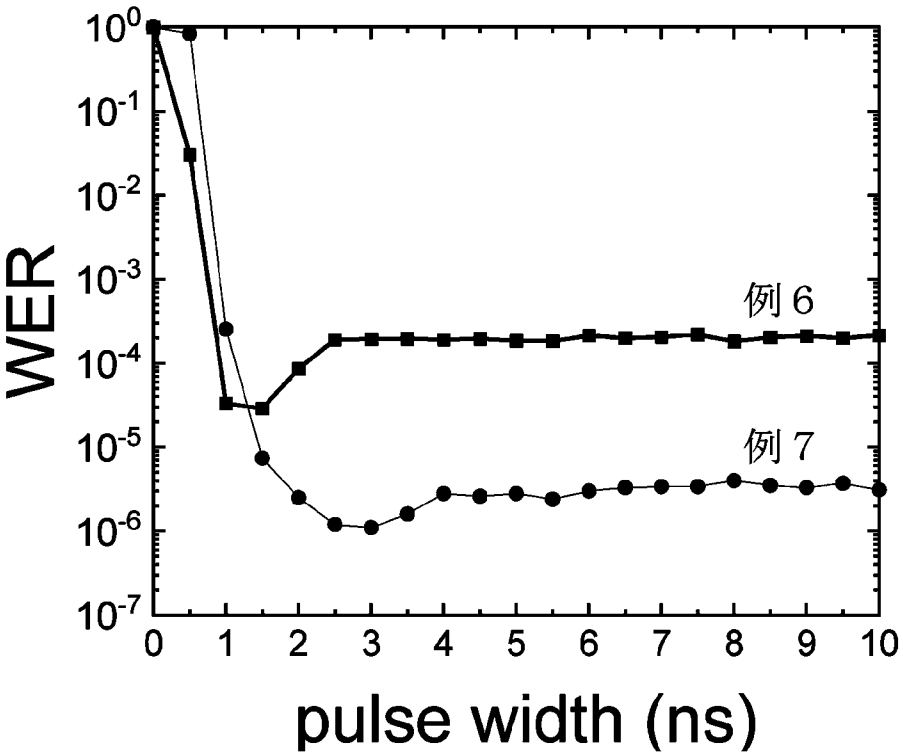


(b)

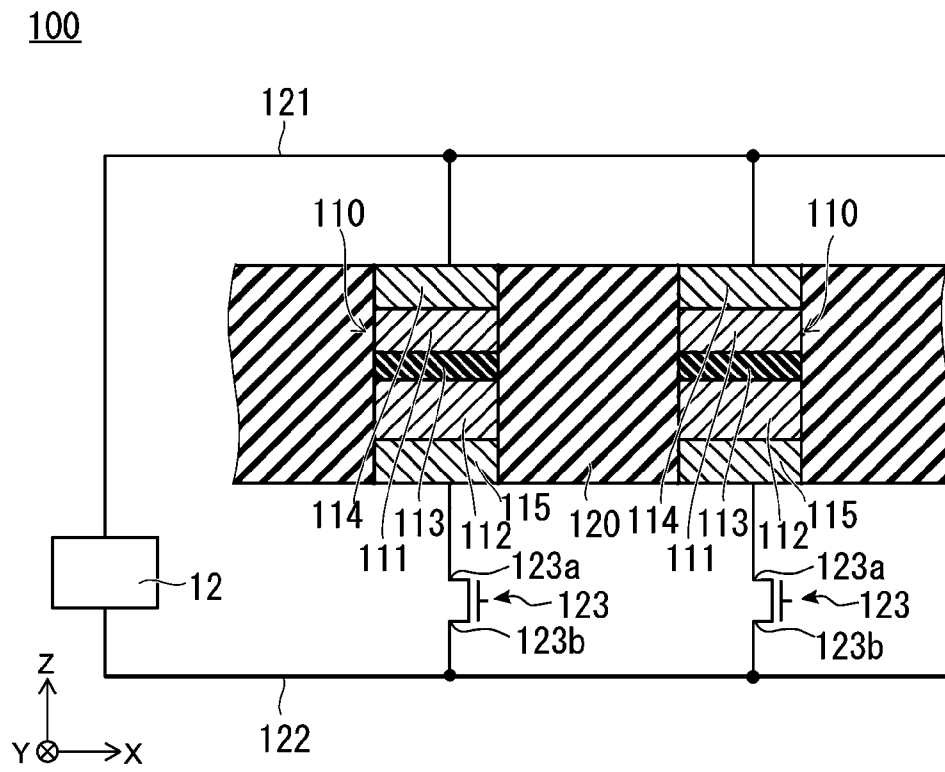
[図9]



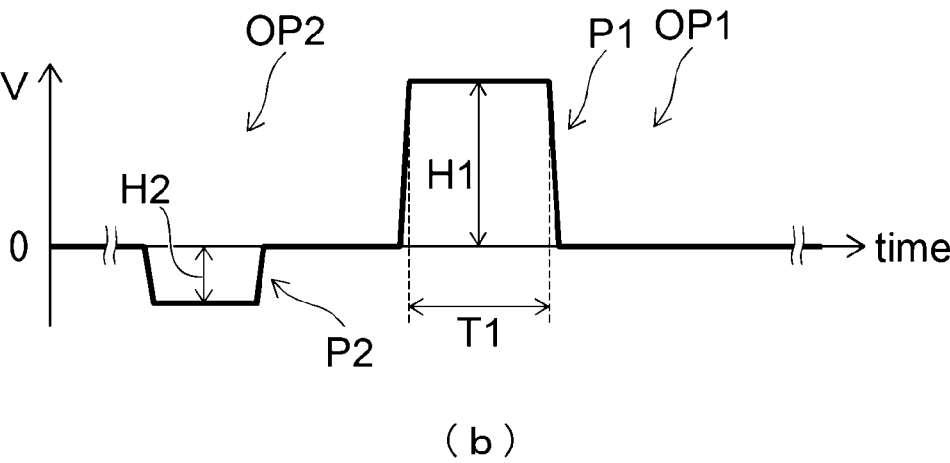
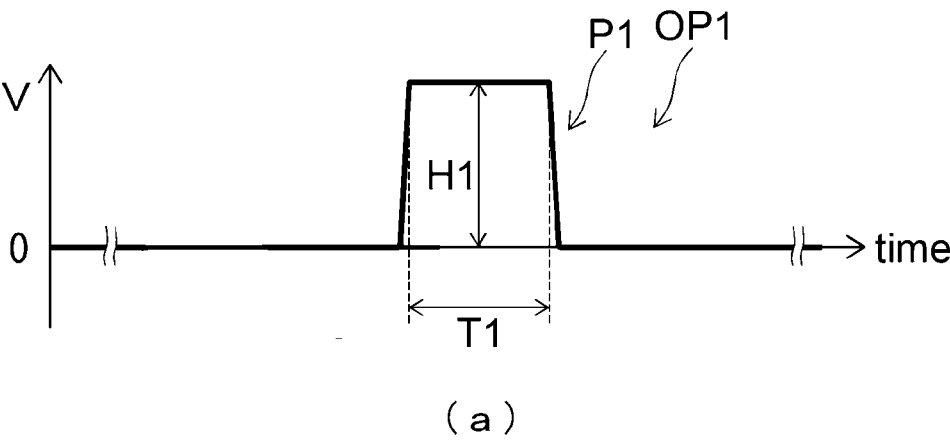
[図10]



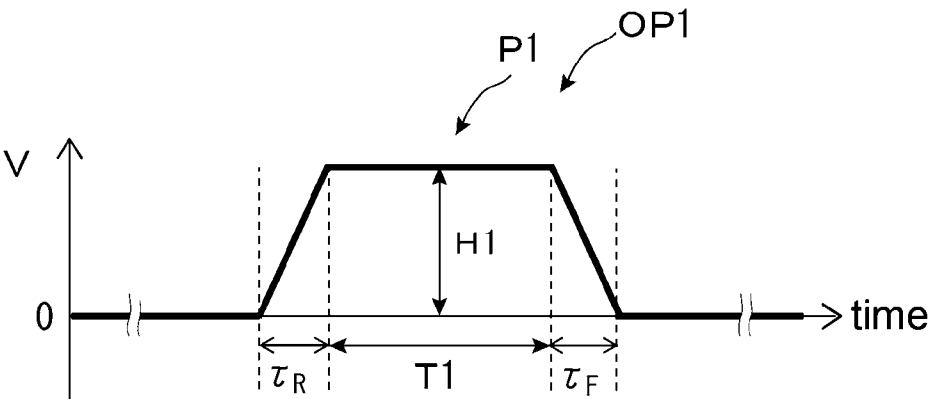
[図11]



[図12]



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/037771

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H10B 61/00**(2023.01)i; **G11C 11/16**(2006.01)i; **H10N 50/10**(2023.01)i

FI: H01L27/105 447; H01L43/08 Z; G11C11/16 240

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L27/105; G11C11/16; H01L21/8239; H01L43/08

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2014-67929 A (TOSHIBA CORP.) 17 April 2014 (2014-04-17)	1-7, 10-14
Y	paragraphs [0009], [0014]-[0016], [0022], [0036], [0050], [0066], [0091], [0103], fig. 1-22	5, 8, 9, 12, 15, 16
X	JP 2018-14376 A (NATIONAL INST. OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 25 January 2018 (2018-01-25)	1-7, 10-14
Y	paragraphs [0007], [0020], [0024], [0029], [0042], [0045], [0046], fig. 1-15	5, 8, 9, 12, 15, 16
X	JP 2020-21782 A (TOSHIBA CORP.) 06 February 2020 (2020-02-06)	1-4, 6, 7, 10, 11, 13, 14
Y	paragraphs [0010], [0026], [0028], [0038], [0081]-[0085], fig. 1-9	5, 8, 9, 12, 15, 16
Y	JP 2017-157662 A (SONY CORP.) 07 September 2017 (2017-09-07)	5, 12
	paragraphs [0012], [0022], [0023], fig. 1-11	
Y	WO 2018/198713 A1 (NATIONAL INST. OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) 01 November 2018 (2018-11-01)	8, 9, 15, 16
	paragraphs [0034]-[0036], fig. 1-12	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 December 2022

Date of mailing of the international search report

27 December 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/037771

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2014-67929	A	17 April 2014	US 2014/0085969 A1 paragraphs [0032], [0033], [0038]-[0040], [0047], [0078], [0101], [0122], [0166], [0179], fig. 1-22	
JP	2018-14376	A	25 January 2018	(Family: none)	
JP	2020-21782	A	06 February 2020	US 2020/0035280 A1 paragraphs [0021], [0037], [0039], [0050], [0097]-[0101], fig. 1-9	
JP	2017-157662	A	07 September 2017	US 2019/0096957 A1 paragraphs [0023], [0033], [0034], fig. 1-11 WO 2017/149874 A1	
WO	2018/198713	A1	01 November 2018	US 2020/0052193 A1 paragraphs [0052]-[0055], fig. 1-12	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H10B 61/00(2023.01)i; G11C 11/16(2006.01)i; H10N 50/10(2023.01)i FI: H01L27/105 447; H01L43/08 Z; G11C11/16 240										
B. 調査を行った分野										
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H01L27/105; G11C11/16; H01L21/8239; H01L43/08										
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2022年	日本国実用新案登録公報	1996-2022年	日本国登録実用新案公報	1994-2022年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2022年									
日本国実用新案登録公報	1996-2022年									
日本国登録実用新案公報	1994-2022年									
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）										
C. 関連すると認められる文献										
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号								
X	JP 2014-67929 A（株式会社東芝）17.04.2014（2014-04-17） 段落0009, 0014-0016, 0022, 0036, 0050, 0066, 0091, 0103, 図1-22	1-7, 10-14								
Y		5, 8, 9, 12, 15, 16								
X	JP 2018-14376 A（国立研究開発法人産業技術総合研究所）25.01.2018（2018-01-25） 段落0007, 0020, 0024, 0029, 0042, 0045, 0046, 図1-15	1-7, 10-14								
Y		5, 8, 9, 12, 15, 16								
X	JP 2020-21782 A（株式会社東芝）06.02.2020（2020-02-06） 段落0010, 0026, 0028, 0038, 0081-0085, 図1-9	1-4, 6, 7, 10, 11, 13, 14								
Y		5, 8, 9, 12, 15, 16								
Y	JP 2017-157662 A（ソニー株式会社）07.09.2017（2017-09-07） 段落0012, 0022, 0023, 図1-11	5, 12								
Y	WO 2018/198713 A1（国立研究開発法人産業技術総合研究所）01.11.2018（2018-11-01） 段落0034-0036, 図1-12	8, 9, 15, 16								
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。										
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献										
国際調査を完了した日 19.12.2022		国際調査報告の発送日 27.12.2022								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 小山 満 5F 9458 電話番号 03-3581-1101 内線 3516								

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/037771

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	2014-67929	A	17.04.2014	US 2014/0085969 A1 段落 0032, 0033, 0038-0040, 0047, 0078, 0101, 0122, 0166, 0179, 図1-22	
JP	2018-14376	A	25.01.2018	(ファミリーなし)	
JP	2020-21782	A	06.02.2020	US 2020/0035280 A1 段落 0021, 0037, 0039, 0050, 0097-0101, 図1-9	
JP	2017-157662	A	07.09.2017	US 2019/0096957 A1 段落0023, 0033, 0034, 図1-11 WO 2017/149874 A1	
WO	2018/198713	A1	01.11.2018	US 2020/0052193 A1 段落0052-0055, 図1-12	